

## 第五章

### 動畫生成

在介紹完舞獅演員的運動計畫器之後，本章將介紹如何將計畫的路徑搭配舞獅演員的動作，結合成動畫輸出。5.1 節介紹動畫所使用的關鍵姿勢模組；5.2 節介紹關鍵姿勢建立好之後，所使用的內插方法；5.3 節則介紹跳躍動作的製作方法。

#### 5.1 關鍵姿勢的定義

傳統的動畫師製作動畫的方式，首先會由主動畫師將一段動畫的主要關鍵格畫好，再由助理動畫師補齊剩餘的部分。秉持這樣的原則，在我們的系統中，我們設計

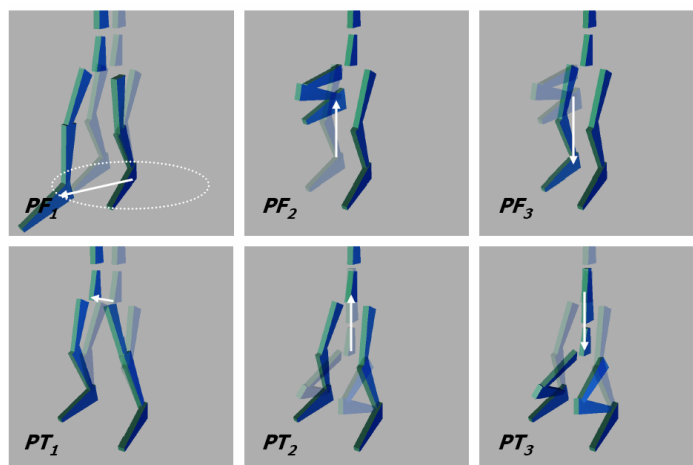


圖 5.1：腳部及骨盆動作控制器[2]

了數個動作控制器(Poser)來產生舞獅演員的動作；每個動作控制器代表一個單一動作，功用是把四肢或骨盆作垂直或水平的位移。

我們總共定義了十種動作控制器，可以滿足舞獅演員所有的動作：腳部(PF)和骨盆(PT)各包含三種，而手部(PH)包含四種動作控制器。如圖 5.1 的例子， $PF_2$  代表的是控制抬腳動作的腳部動作控制器，而  $PT_1$  代表的是將骨盆（重心）由重心腳移到自由腳的骨盆動作控制器。透過腳部和骨盆動作控制器之間的相互配合便可完成虛擬人物下半身的動作，而手部的動作控制器則主要用來組成控制獅頭的所有動作。

嚴格來說，我們今天要設計一個動作便是在起始姿勢和目的姿勢間建立適當的關鍵姿勢，對應到我們所使用的系統即是組合出正確順序的動作產生器，我們提供了腳部動作轉換的示意圖(Stance Action Graph)，用以描述一個動作在各個動作控制器之間的轉換過程。如圖 5.2 所示，圖中的節點表示一個腳部動作控制器，節點間的連線表示腳部動作的轉換。我們定義一種組態( $A_{From}, A_{To}$ )來表示圖中腳部動作的轉移， $A_{From}$  表示動作轉移前的起始動作， $A_{To}$  表示目標動作，' \* ' 表示其他可能的狀態。腳部動作轉換圖是可循環的(cyclic)，每個動作都是起始於  $PT_1$  節點並在下個動作循環開始前終

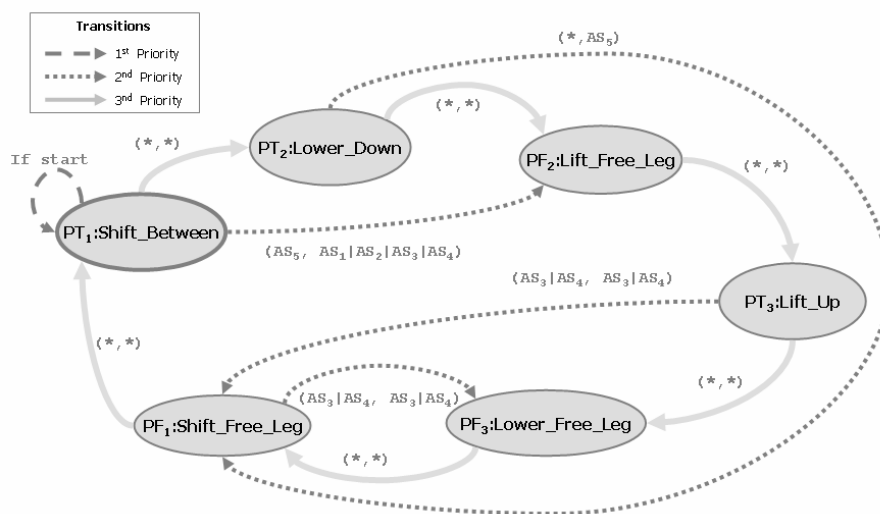


圖 5.2：腳部動作轉換示意圖 [2]

止於相同的節點，節點之間的連線是有方向性的，而不同形式的線段有不同的優先度，當一個節點有多條箭頭輸出時即表示優先權高的先走。

舉個例子來說，假設今天舞獅演員要表演連續的三角步伐，在我們的定義中它代表的組態為 $(AS_4, AS_4)$ ，該動作是起始於圖中的  $PT_1$  節點，因為每個腳部動作開始都是先將人物的重心由重心腳移到自由腳，接下來就是拜訪  $PT_2, PF_2$  和  $PT_3$ 。拜訪完  $PT_3$  節點後，下一個節點是拜訪  $PF_1$ ，該節點的功能是插入一個自由腳的關鍵動作，用來避免兩腳交叉發生碰撞，接下來則依序拜訪  $PF_3$  和  $PT_1$ ，將自由腳放下並移動到目標動作的位置。最後骨盆會位移到下一個新動作開始位置的中間，所以從 $(AS_4, AS_4)$ 的節點轉換過程為，如圖 5.3 所示：

$$PT_1 \rightarrow PT_2 \rightarrow PF_2 \rightarrow PT_3 \rightarrow PF_1 \rightarrow PF_3 \rightarrow PF_1 \rightarrow PT_1$$

藉由腳部動作轉換圖，我們一步一步的依照程序式的方式，組合出適當序列的腳部動作控制器，以即時產生出舞獅演員的表演動作。舞獅人物的手部動作轉換圖原理類似，在此不再贅述。

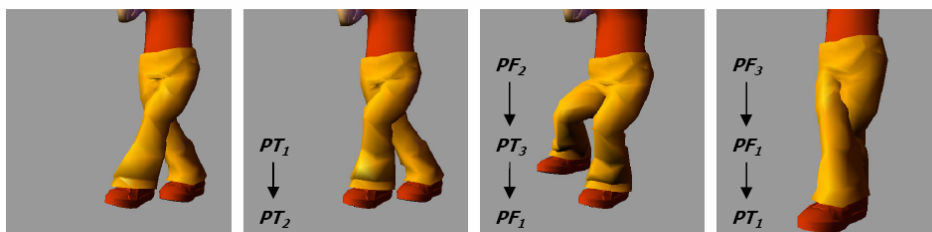


圖 5.3：舞獅演員三角步伐之腳部動作控制器間的轉換[2]

## 5.2 關鍵姿勢的內插

在現實環境中，人物的肢體從靜止狀態到開始移動或進行跳躍動作時，並不是以等速進行運動，大部分會呈現一個加速或減速的情形，因此在模擬這些動作時，開始的時候會以先慢後快來設定；反之動作結束前，會以先快後慢來設定，以避免動作的不自然。在製作動畫上，一個物體以先慢後快的動作進行內插的方法稱為緩入(ease in)，如圖 5.4(a)所示，橫座標為時間，縱座標為內插值，由觀察得知此曲線斜率為一遞增狀態，內插值也會呈遞增情形，假設內插值代表物體的位置，則代表其運動情形為一加速運動；而一物體以先快後慢的動作進行內插的方法則稱為緩出(ease out)，此曲線的斜率為一遞減的狀態，同理此物體為一減速運動，如圖 5.4(b)所示。

我們利用貝茲曲線(Bezier Curve)的技術來完成上述兩種內插方法，以補足動畫關鍵格與關鍵格之間的部分。為了造成圖 5.5 中曲線緩入緩出的效果，切線的端點固定在 0.0 的位置，而且當關鍵格的時間有所調整，圖中的控制點像  $P_0, P_1, P_2, P_3$  會沿著水平軸被等比例的縮放，使模擬的結果能貼近真實情況下的行為。

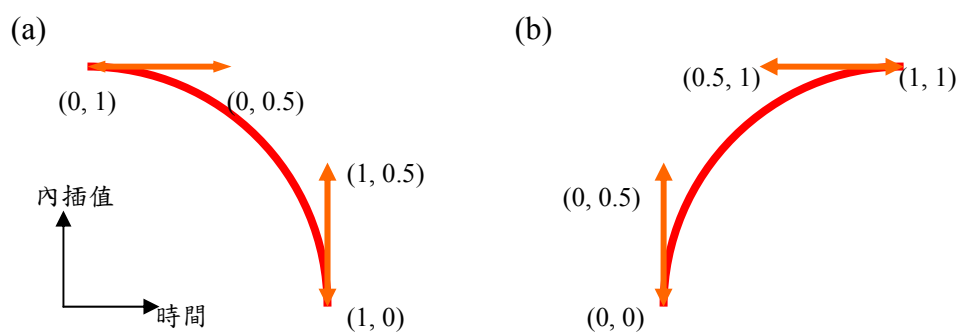


圖 5.4：兩種常見的內插方式(a)緩入 (b)緩出

RhyCAP 系統屬於一個即時的人物動畫系統，基本的動畫控制包括符合人體規範的動作操作以及播放模組都必須符合即時性的原則，也因為要達到即時的目的，系統中肢體的反向機構學演算法是採用分析的方法，而不是用其他像最佳化的方式或數學估計的方法來做。我們研究中人物的肢體（包含手臂和腳的部分），是定義成一個七個自由度的機構學鍊(kinematic chain)，以手臂為例，肩膀和手腕各為三個自由度，手肘為一個自由度。當我們給定一個反向機構學鍊的端點  $M_{goal}$  時，可以透過式子 5.1 來求得各部位的組態值，其詳細過程可參考[2]。

$$M_{goal} = R_{shoulder} \times T_{shoulder} \times R_{elbow} \times T_{elbow} \times R_{wrist} \quad (5.1)$$

其中兩個常數矩陣  $T_{shoulder}$  和  $T_{elbow}$  分別代表肩膀到手肘的長度以及手肘到手腕的長度，而另外的三個旋轉矩陣  $R_{shoulder}$ ,  $R_{elbow}$ ,  $R_{wrist}$  代表肩膀、手肘、手腕的旋轉組態。

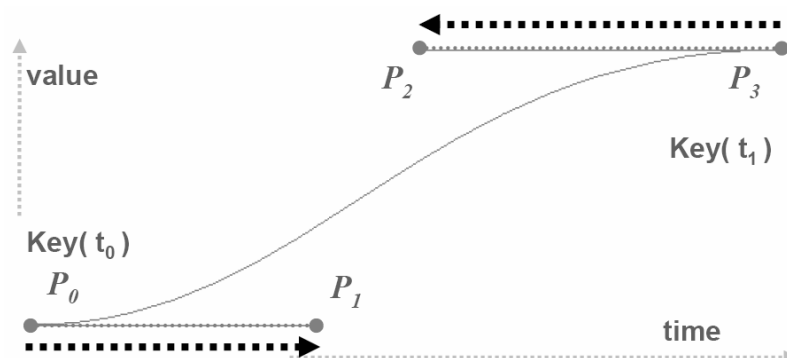


圖 5.5：貝茲曲線內插示意圖[2]

### 5.3 跳躍動作的生成方式

真實世界中舞獅演員在梅花樁上做表演時，多半都會伴隨著跳躍的動作，因此我們在設計舞獅人物的動作時，具有跳躍的能力也是不可缺少的。我們觀察人物的跳躍過程，約可分成三個階段：第一階段是預備期(Anticipate)，此時人物的重心會從一般站立的狀態下，略微降低；第二階段是作用期(Action)，此時人物的腳會開始離開地面，重心也開始向上跟向前爬升，並達到跳躍過程的最高點，之後重心開始向下跟向前降低，直到腳接觸地面的瞬間；第三階段是反應期(Reaction)，此時因為人物剛降落地面，因為慣性的原因，一開始人物重心會比一般站立狀態下低，之後重心在慢慢回到正常站立的位置，如圖 5.6 所示。

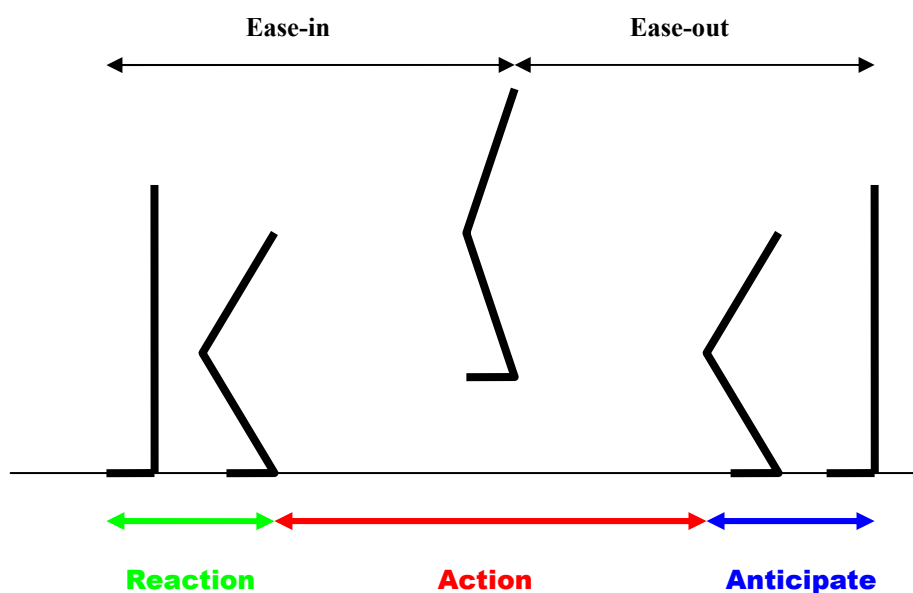


圖 5.6：跳躍運動的三個階段

跳躍的動作關鍵格定義好之後，接下來要計算跳躍過程中的骨盆和腳的最高點，以及腳離地時跟地面的角度。舞獅人物的跳躍距離  $R$  並不是固定的，會因梅花樁的不同而有所差異，我們的計算方法是採用物體的斜拋公式，將腳或骨盆的運動過程視為一個物體在做斜拋運動，給定一個適當的初速度  $V_0$ ，透過以下公式

$$R = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{g},$$

便可求得腳離地時與水平面的夾角  $\theta$ ，有了夾角  $\theta$  跟初速  $V_0$  代入下面的公式

$$H = \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{2g},$$

便可求得斜拋過程中最高點的位置  $H$ 。

從腳部動作控制器的觀點來看跳躍的動作，有些部分跟 5.1 節的定義不太一樣，需要稍做修正。主要的差異是之前定義的腳部動作大多都是兩隻腳腳步的變換完成所有的動作，並且都有重心腳跟自由腳的概念在裡面，但是跳躍動作，是兩腳同時動作的，透過之前的腳部動作控制器便無法直接完成，因此我們做了以下修正：

1. 腳部動作控制器  $PF1$ (PFShiftFree) 原本是單獨控制自由腳相對於重心腳的位置，現在改成可直接控制任一隻腳的移動。
2. 將骨盆動作控制器  $PT3$ (PTLiftUp) 改成可以直接控制骨盆位置的移動。

經過上述的修正，在動畫時間軸上的同一點，同時使用兩個  $PF1$  腳部動作控制器，便可完成同時控制兩隻腳移動。所以在雙腳立定跳躍的過程，動作控制器的順序為：

$$PT_2 \rightarrow PF_1(L), PF_1(R), PT_3 \rightarrow PF_1(L), PF_1(R), PT_3 \rightarrow PF_1(L), PF_1(R), PT_3 \rightarrow PT_3$$